



李富, 王永华, 焦彦杰, 等. 2016. 多龙矿集区物探异常特征及找矿方向. 地球物理学进展, 31(1): 0217-0224, doi:10.6038/pg20160125.
LI Fu, WANG Yong-hua, JIAO Yan-jie, et al. 2016. Geophysical anomaly characteristics and prospecting direction of Duolong mining area. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 31(1): 0217-0224, doi:10.6038/pg20160125.

多龙矿集区物探异常特征及找矿方向 Geophysical anomaly characteristics and prospecting direction of Duolong mining area

李富, 王永华, 焦彦杰, 祝向平, 马东方
LI Fu, WANG Yong-hua, JIAO Yan-jie, ZHU Xiang-ping, MA Dong-fang

中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610082
Chengdu center China geological survey, Chengdu 610082, China

摘 要 多龙矿集区位于青藏高原藏北腹地, 地处班公湖—怒江缝合带北缘、南羌塘盆地; 由于大地构造位置的特殊性和良好的地质背景, 历来备受中外地质学家的关注, 取得了一系列找矿成果, 但其找矿方法技术及有效的物探方法组合亟待研究总结. 本文首先, 对物性特征进行了系统的整理与总结, 得出“两中高夹一低”的物性特征, 构建了物探找矿模型; 其次, 提出多龙矿集区的物探找矿方法技术组合: 磁法→激电剖面→大地电磁测深. 最后, 运用延拓、垂向导数、线性增强和总梯度模等新方法、新技术对磁测数据进行再处理, 并结合最新地质资料进行深入分析解释, 提取有用的找矿信息, 提出新的推断成果. 通过地质、物化探综合研究, 圈出有利找矿远景区, 为多龙矿集区寻找铜、金矿床提供物化探方面方法技术的指导.

关键词 磁测; 斑岩铜矿; 总梯度模; 组合异常

中图分类号 P631
文献标识码 A
doi:10.6038/pg20160125

Abstract Duolong Mining area is located in the northern Tibetan Plateau hinterland, located in the Bangong Lake Nu River junction zone, north of the southern Qiangtang basin. Due to the particularity of the tectonic and good geological background, took much attention by geologists at home and abroad for years, made a series of prospecting results, but for the exploration methods and effective geophysical exploration methods combination urgent research summary. First of all, this paper, the physical properties of rocks were arranged and summarized systematically, produce the “two high and one low clip,” the physical characteristics, constructed geophysical prospecting model; Secondly, the proposed combination of the geophysical prospecting method technology Duolong ore district: the magnetic → induced polarization sectional → magnetotelluric sounding. Finally, the use of upward continuation, vertical derivative, linear enhancement, total gradient mode and other new methods, new technology for magnetic data reprocessing, and combined with the latest in-depth analysis and interpretation of geological data, extract useful prospecting information, propose new inferred results. Comprehensive study of geological and geophysical prospecting, Circle the favorable prospecting area, provide guidance of physical and chemical methods for copper and gold deposit prospecting in Duolong mining area.

Keywords magnetic survey; porphyry copper; total gradient mode; combination the exception

0 引 言

西藏多龙矿集区位于西藏自治区改则县境内, 地处班公湖—怒江缝合带北缘和南羌塘盆地, 具有良好的地质背景及大地构造位置的特殊性, 备受中外地质学家的关注(耿全如, 2011; 陈红旗, 2015). 多龙整装勘查区是西藏首批国家级铜金整装勘查区之一, 被中国地质调查局列为建设中国重要矿产资源后备基地的重点地区; 多龙矿集区探测的铜资源量已达到 1600 万吨, 找矿潜力超过 2000 万吨, 由此成为我国第一个世界级斑岩型矿床. 自多龙斑岩型铜金矿床发现以来, 众多学者对其多龙矿集区内发现的波龙、多不杂、铁格隆南

和拿若等矿床的成矿地质背景、矿床特征和成矿机理做了详细的研究(李光明, 2012; 李金祥, 2012; 唐菊兴, 2014). 但对多龙矿集区找矿方法技术方面缺乏系统性的总结研究, 对区域和典型矿床的物探、化探资料的综合利用和研究存在不足, 对物化探找矿模式缺乏总结, 目前钻探探边摸底急需物化探方法资料提供技术支撑. 本文通过对多龙整装区的物性特征总结, 构建了物探找矿模型; 提出多龙矿集区的物探找矿方法技术组合; 对物探与化探资料进行再处理与综合研究, 提取有用的找矿信息; 总结各种方法技术效果, 提高多龙地区寻找铜、金矿床的勘查效果, 为区域找矿提供技术指导.

收稿日期 2015-07-10; 修回日期 2015-09-08.

投稿网址 <http://www.progeophysics.cn>

基金项目 国家自然科学基金项目(41202049)、国家重点基础研究发展计划(973)“青藏高原南部大陆聚合与成矿作用”(2011CB403100)和中国地质调查局地质矿产调查评价专项(1212011086074, 12120114050401)联合资助.

作者简介 李富, 男, 1980 年生, 四川蓬溪人, 硕士, 高级工程师, 主要从事应用地球物理找矿方面工作.
(E-mail: lifu2007chengdu@126.com)

1 多龙矿集区地质矿产概况

1.1 多龙矿集区地质概况

多龙矿集区位于羌塘—三江复合板片南缘的多不杂构造岩浆岩带中,即班公错—怒江缝合带,是喜马拉雅特提斯成矿域主要成矿带之一,是班怒洋向北俯冲、欧来板片向南仰冲形成,具有良好的成矿地质背景,多期次岩浆活动为岩浆侵位、成矿物源的运移提供了成矿条件(李玉彬,2012)。

通过在多龙矿集区内多年持续的研究工作,已发现了地堡那木冈、拿厅、拿顿、波龙、多不杂、拿若、赛角、尕尔勤等近10个矿床(点),区内斑岩系统矿床均与北东向、北西向控岩-控矿断层有关;矿集区内构造断裂构造发育,有近东西向 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 ,北西向 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_8 ,北东向 F_9 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{12} 、 F_{13} (见图1),本区内的主要矿点大多位于北东向或北西向构造与东西向构造交汇处,且以约6Km的等间距均匀分布,由于本区大面积出露第四系地层,大部分断层的划分依据需要物化探资料提供技术支撑,物探数据的再处理非常有必要。 F_2 断裂处于矿区中部,具有多期活动特征,它既是早期的控矿断裂,为多不杂花岗闪长斑岩的侵入和成矿提供了通道和空间,也是后期破矿断裂(宁墨兔,2013;江少卿,2014)。

区内出露地层简单,主要为中生界中侏罗统曲色组、色哇组滨海相碎屑岩,下白垩统铁格隆组火山碎屑岩和新生界新近系康托组陆源碎屑岩夹火山岩。其中,下侏罗统曲色组二段大面积分布在矿区的中、南部,岩性主要为一套浅灰绿色—浅黄褐色薄—中厚层状变长石石英砂岩,它与岩体的内外接触带是矿区主要赋矿部位,受岩体的主动侵位影响,地层产状形成穹隆构造。经2014年的地质填图结果,对美日切错组重新认定,更名为铁格隆组,并将下白垩统铁格隆组分为三段:上段火山角砾岩,中段火山碎屑岩,下段安山玢岩、安山质玄武岩(见图1)。

区内超基性、基性、中酸性、酸性岩体均有出露,主要以花岗斑岩、花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、花岗闪长岩、闪长玢岩、辉绿岩、玄武岩、英安岩等为主,其中花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩为本区斑岩铜矿的主要含矿地质体。

1.2 多龙矿集区矿床地质特征

由于斑岩体的侵位,矿区范围内发育广泛的热液蚀变,主要表现为黑云母化、钾长石化、硅化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化等。蚀变带具有一定的分带性,由含矿斑岩中心向外可划分出钾硅化带、磁铁矿化带、泥化带、黄铁绢云岩化带、伊利石化、白云母化、褐铁矿化带、角闪岩带或青磐岩化带(唐菊兴,2014)。与矿化密切相关的蚀变带主要是钾硅酸盐化带、绢英岩化与泥化叠加带,发育丰富的热液磁铁矿,铜、金沉淀与热液磁铁矿的形成关系密切。

2 多龙矿集区物探工作程度及方法技术总结

2.1 多龙矿集区物探工作程度

2008年,多龙矿集区开展1:5万地面高精度磁测900km²,由于当时对矿床的认识与重视程度不够,对磁法数据仅进行了简单处理与图件的编制。后期开展了部分重点矿床的1:1万地面高精度磁测,随着矿产勘查投入力度加大,在典型矿床开展过大地电磁测深、瞬变电磁测量、激电测深、激电

中梯等剖面测量^{①②}。

2.2 多龙矿集区磁法技术研究

由于斑岩型铜(钼)矿带的矿体内及其表面通常存在磁铁矿、黄铁矿等矿石矿物,高精度磁法测量可测得中等磁异常;矿体一般具有相对低电阻率特征,磁性与电阻率均有明显的差异(江为为,2002;孙兴国,2007;杨春成,2013;杨振威,2013)。前人对多龙矿集区的认识:李玉彬等将正负磁异常分开圈定异常,认为磁法受多方面因素影响,不能很好地圈出岩体,激电的找矿标志为低视电阻率、高视极化率(李玉彬,2012);宁墨兔和江少卿等也将正负磁异常分开圈定异常,认为低磁异常间接反映花岗闪长斑岩体成矿母岩,高极化率异常直接反映斑岩型铜矿体两翼的黄铁矿化带,而中高阶化异常间接反映铜矿体(宁墨兔,2013;江少卿,2014)。本文对多龙矿集区内主要地层物性进行全面系统的统计与对比研究(见表1),从磁性特征分:辉绿岩、安山岩、玄武岩、安山岩>铜矿化花岗闪长斑岩>火山角砾岩、石英闪长岩、花岗闪长斑岩、蚀变岩体>粉砂岩。根据多龙矿集区成矿模式的研究建立其相应物探模型(见图2a)(唐菊兴,2014),从模型可以看出,含矿斑岩体周边黄铁矿化而表现出:中高磁、低电阻率和中高阶化率的异常特征,与周边围岩具有明显的物性差异。

本文对原磁测数据进行化极、上延、垂向一阶导数、垂向二阶导数、线性增强、二维小波分析和总梯模等新方法、新技术进行重新处理与解释,取得的异常具有良好的找矿效果。从多龙矿集区磁测 ΔT 化极等值线图(图3)可以看出,矿集区区域磁场特征明显,分中、南部三个高磁场区、北东向与北西向的磁异常中高值区、北东角与东南角负磁场区等3个磁异常分布区。其中,高磁异常区经工程验证,其下部为隐伏含磁铁矿黑云母花岗岩,为本区的主要地层岩性;中高值磁异常区主要是由北东向、北西向的断裂控制,是由铜矿化花岗闪长斑岩、花岗斑岩等酸性岩及少量玄武岩、辉绿岩等基性岩引起,其分布特征为零星点状分布,与地质上认识浅层低温热液型与新发现角砾岩筒型铜金矿床特征类似;负磁场区分布于矿集区北西角与东南角,其主要由位于新近系下新统康托组粘土及砂砾石层分布区,属陆相沉积地层,由于其形成时代较新,且构造及后期岩浆活动不明显,显示了平稳场特征。三者界线非常清楚,异常总体特征明显,中高磁异常区为下一步的有利找矿位置。

多龙矿集区1:5万 ΔT 化极上延100~2000m不同高度立体图(图2b),该图是以150nT异常等值线进行圈闭,可以看出深部的磁性岩体范围有所减小,表明深部主要以岩浆浸入通道为主,主岩体应埋深在2km以下;浅部为大面积岩浆侵蚀。多龙矿集区中部的铁格山强磁异常主要以椭圆形为主,可以圈定磁性岩体的范围。地堡拿木冈的强磁异常也显示为椭圆形,其东侧为主岩体范围,异常范围较大,且埋深较

① 西藏地勘局地热地质大队. 2008. 西藏班公湖-怒江成矿带西段铜多金属资源调查多龙矿集区1/5万地面高精度磁测工作报告[R].

② 西藏自治区地质调查院. 2012. 西藏班公湖-怒江成矿带西段铜多金属资源调查报告[R].

表1 多龙矿集区主要岩层物性统计表 (* 为黄铁矿的参数)

Table 1 Duolong ore concentration area is mainly rock physical property statistics (* parameters of pyrite)

岩(矿)石	剩余磁化强度(Mr)		磁化率(κ)		极化率(ηs)			电阻率(Ω·m)		
	(×10 ⁻³ A/m)		(4π×10 ⁻⁶ SI)							
名称	常见值	变化范围	常见值	变化范围	η _{max}	η _{min}	η	ρ _{max}	ρ _{min}	ρ
砂板岩	92	35~306	650	162~1704	2.5	0.7	1.4	965	218	439
蚀变岩体	94.2	36~387.9	2033	155~39684						
花岗闪长斑岩	105.9	21.35~518	2229	445~22300	3.0	1.5	2.2	8185	1927	3904
石英闪长岩	142	38~891	3506	378~94426						
火山角砾岩	93	78~118	4385	3524~5246	2.9	1.0	1.6	503	195	352
铜矿化花岗闪长斑岩	98	75~119	8586	4219~12953	7.5	7.2	7.3	151	149	150
玄武岩	374	149~600	16974	10691~23392	3.8	1.9	2.7	17246	8963	13000
褐铁矿	626	293~959	19321	11351~27291	65.7*	9.3*	27*	1200*	175*	549*
安山岩	395	292~505	22560	16125~25994	2.7	1.7	2.1	19172	14695	16953
辉绿岩	757	92~2763	37276	2092~392688	2.7	1.4	2.0	3538	2141	2906

深;其西侧为次级岩体,其磁性岩体范围并不大,地堡那木冈、拿顿、拿厅等矿床均出现在该磁性体周边;从磁测 ΔT 化极小波 3 阶趋势等值线图可以看出类似的磁异常特征。

利用磁异常总梯度模函数的曲线形态与磁化强度及其方向无关的特点,很多学者进一步探讨了磁异常总梯度模的极大值法确定磁性体边界的方法,由于本区磁倾角方向变化较大,可据此方法准确确定地质体的边界位置(孙燕,2010;吴文贤,2013;杨春成,2013;杨剑,2014)。从多龙矿集区磁异常总梯度模等值线图(图4)可以看出,该异常主要体现了磁性体的水平与垂向的总梯度变化,总梯度变化特征与多龙矿集内的矿床基本分布范围基本一致;该方法有效体现矿致磁性异常边界范围及异常强度,对资料解释起到很好效果。目前已发现 15 个已知矿点与磁异常总梯度模吻合较好,均位于磁异常梯度模的中心或周边;同时对北东向、北西向的断裂构造也反映明显,与地质构造边界基本吻合。对本区共识别局部磁异常 20 处,异常编号遵循由西向东,自南向北依次编号的基本原则,磁异常编号为 DL-M1 至 DL-M20。区内较明显的深部断裂异常以北东向为主(7 条),其次为北西向(3 条),近东西向断裂(2 条)仅在测区中部、西南部附近有明显异常反映(图5)。

北东向断裂:该组断裂主要发育于测区中部,以串珠状异常定向排列为主要特征,在区内形成若干北东向展布的磁异常带。由异常带的基本特征可看出,断裂带内充填有后期侵入岩岩脉及磁性矿(化)体。北东向断裂(DL-F1)沿 DL-M02、DL-M05 一线展布,断裂的总体异常特征为串珠状磁异常,且呈带状间断排列;与地质上 F9 断裂基本吻合。DL-F2 断裂位于 DL-M01、DL-M04、DL-M08 西侧,穿越了 DL-M09 磁异常,其向东发展的异常迹象不明显,有可能受 DL-F12 错断。断裂的磁异常特征为自封闭异常呈串珠状排列带状展布,与地质上 F10 断裂基本吻合。DL-F3 断裂西南侧磁异常特征较弱,北东侧的为地堡那木冈(DL-M04)与 DL-M07 磁异常的界线;断裂穿越 DL-M04 与 DL-M07 两磁异常,北部终

止于 DL-F11 断裂;断裂的基本磁异常特征为自封闭强磁异常,呈带状展布。DL-F5 断裂位于 DL-M12 磁异常西侧,断裂西边主要以弱磁异常为主,断裂东侧主要以串珠状的正磁异常为主,南边终止于 DL-F11 断裂。DL-F5 断裂向北端延伸的磁异常特征并不明显,该断裂的磁异常特征为呈断续带状展布的串珠状排列异常。该断裂与地质上的 F10 断裂位置基本吻合。

北西向断裂:该组断裂主要发育于测区东部,主要特征以串珠状磁异常定向排列带状分布。带内磁异常以正负磁异常为主,表明沿断裂后期充填物质以铁磁性矿物为主。DL-F8 断裂穿越了 DL-M10、M-14、M-15、M-17 等局部强磁异常。其向东南端延伸的异常特征不明显、向西北端延伸被 DL-F2 错断;该断裂磁异常主要特征为串珠状自封闭局部异常为主,该断裂为分开 DL-M07 和 M-13 两主要磁异常。DL-F9 断裂经过 DL-M16、DL-M17 强磁异常,向北西方向被 DL-F7 断裂错断;该断裂的化极垂向一导显示串珠状磁异常,该断裂与已知 F7 断裂吻合较好,可以推断 F7 断裂向东南方向有延伸。DL-F10 断裂穿越了 DL-M19、DL-M20 强磁异常,位于 DL-M19 强磁异常南侧,位于正负磁异常梯度带;位于 DL-M20 强磁异常北侧,同时确定 DL-F6、DL-F7 断裂北边界。从化极垂向一阶导数等值线可以看出,DL-F10 断裂位于带状展布的串珠状磁异常。该断裂与已知 F4 断裂基本吻合,但受第四系覆盖层影响,地质上 F4 断裂反映不明显,而磁测资料对确定断裂边界起到很好的效果。

近东西向断裂:区内近东西向断裂(DL-F11、DL-F12)的磁异常特征明显,主要体现强磁场区与畸变场区间出现相对较明显的异常反映。本测区推测两条具明显磁异常反映的近东西向深部断裂带。DL-F11 断裂穿越了 DL-M9 和 DL-M13 强磁异常,该断裂位于 DL-M9 磁异常北部,位于 DL-M13 强磁异常南部;从垂向一阶导数图可以看出,该异常以带状展布的串珠状磁异常;且与 DL-F1、F2、F5、F6 北东向断裂交汇,为后期的破矿断裂;该断裂与已知 F2 断裂较吻合。DL-

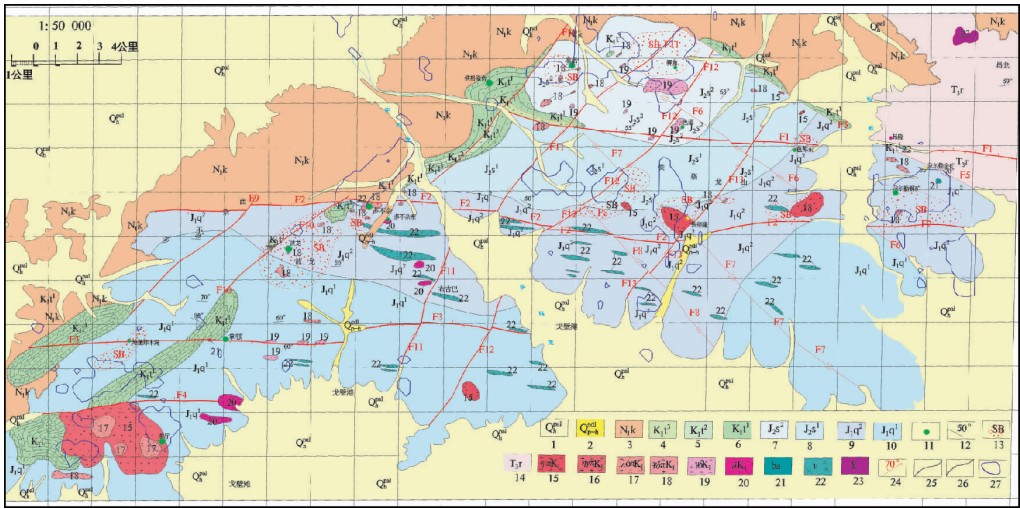


图1 多龙矿集区侵入岩浆构造及物化探综合异常图(据郝秋勇修编,2014)

1-全新统,2-更新统-全新统,3-渐新统-渐新统,4-下白垩统-铁格隆组上段,5-下白垩统-铁格隆组中段,6-下白垩统-铁格隆组下段,7-中侏罗统-色哇组二段,8-中侏罗统-色哇组一段,9-中侏罗统-曲曲组二段,10-中侏罗统-曲曲组一段,11-铜矿(化)点,12-地层产状,13-角岩化蚀变带,14-上三叠统-干配错组,15-早白垩世-花岗斑岩,16-早白垩世-二长花岗斑岩,17-早白垩世-石英斑岩,18-早白垩世-花岗闪长斑岩,19-早白垩世-花岗闪长岩,20-早白垩世-闪长岩,21-枕状玄武岩,22-辉长岩,23-蛇纹石化橄榄岩,24-实测断层产状,25-实测地质界线,26-实测角度不整合界线,27-物化探综合异常图.

Fig. 1 Intrusive magmatic structures and geophysical-geochemical integrated anomalies of Duolong mining area (according to Xi QiuYong revision, 2014)

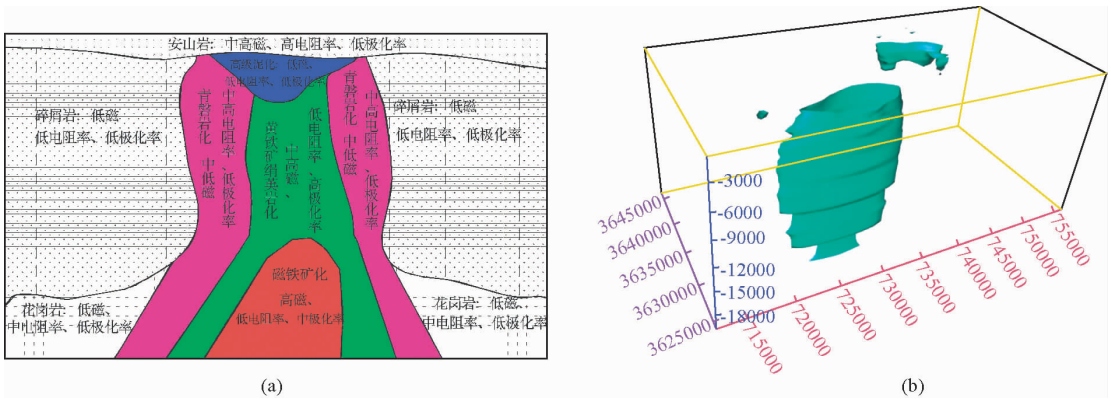


图2 (a)多龙矿集区物探模式;(b)1:50,000 ΔT 化极上延 100~2000 m 不同深度立体图(垂向上放大 10 倍)
Fig. 2 (a) Duolong mining area geophysical mode (left) area; (b) 1:50,000 ΔT turn on a delay of 100~2000 m depth of different forms of Duolong ore concentration area (vertical magnified 10 times)

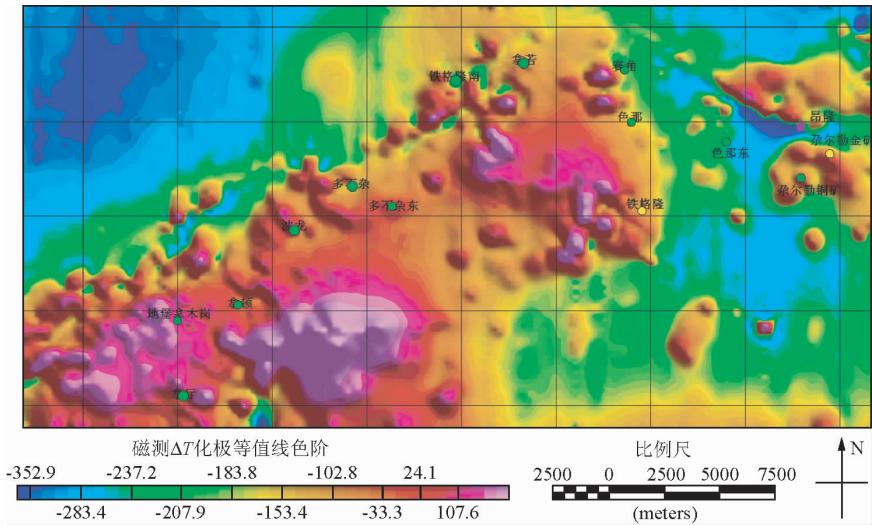


图3 多龙矿集区磁测 ΔT 化极等值线图(●为矿点)

Fig. 3 Magnetic survey delta ΔT is changed very contour map of Duolong Mining area (● for mines)

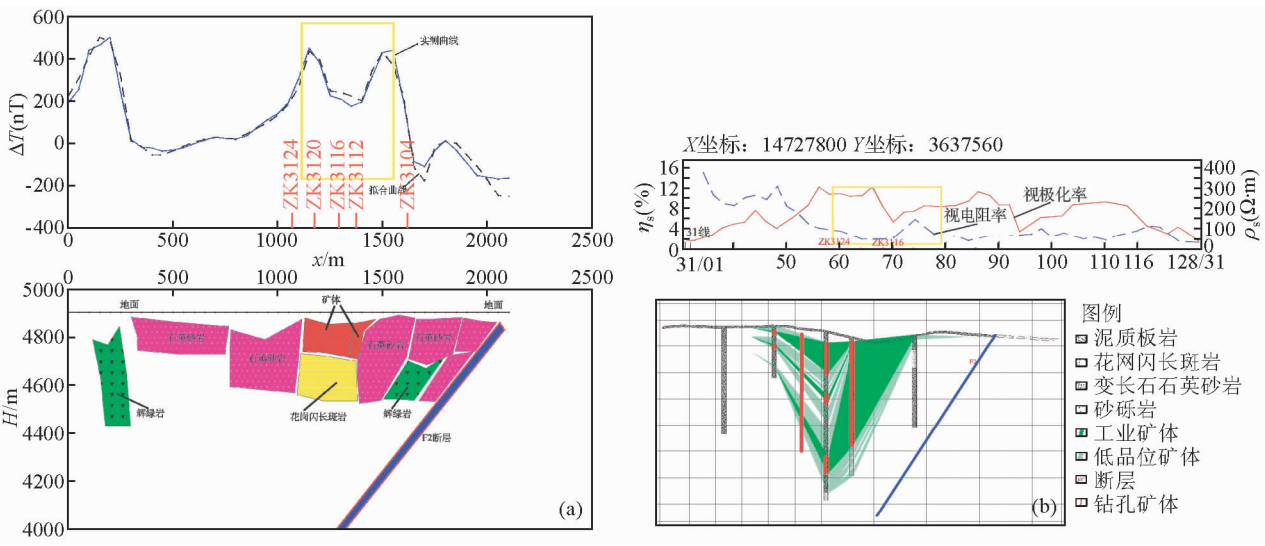


图6 (a)多不杂31线磁测剖面拟合反演剖面图;(b)31线激电剖面与钻孔见孔关系对比图

Fig.6 (a)Fitting magnetic inversion profile of The Duobuza 31 line profile;
(b)31 IP profile and drilling hole relationship comparison chart (b)

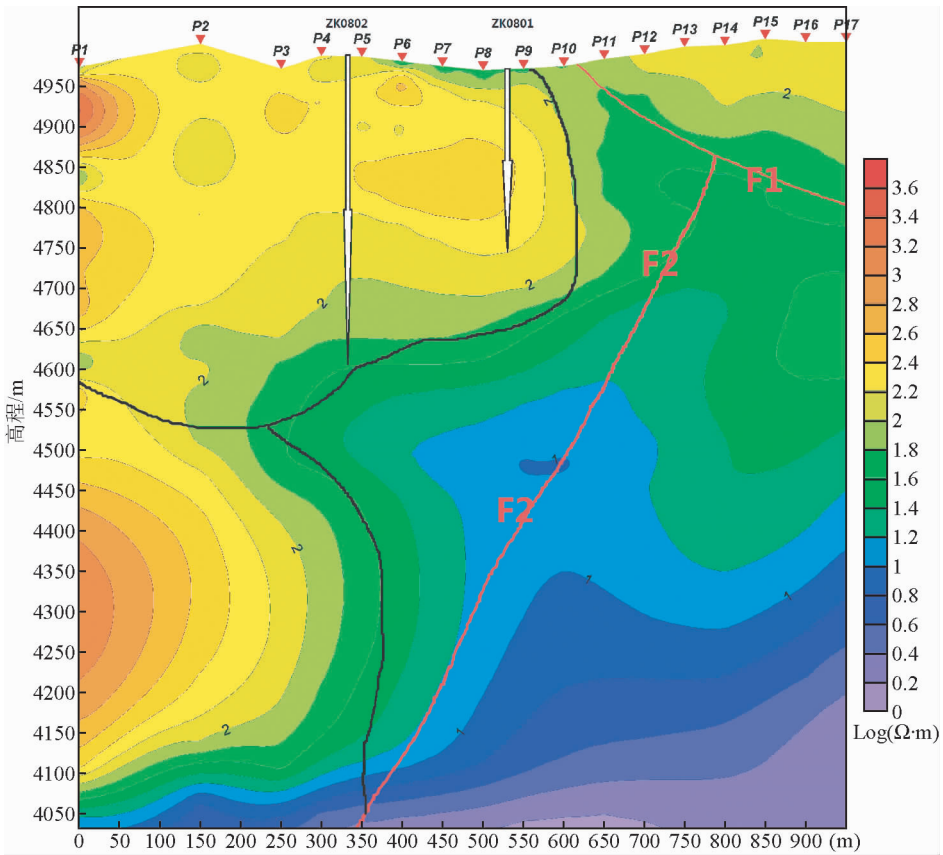


图7 多不杂AMT08线OCCAM反演断面图

Fig.7 OCCAM inversion section of Duobuza AMT08 line

辉绿岩、安山岩、玄武岩、花岗闪长斑岩>粉砂岩;从视电阻率特征划分:安山岩、玄武岩>辉绿岩、花岗闪长斑岩>粉砂岩、火山角岩>铜矿化花岗闪长斑岩(见表1)。电性特征表明,含矿斑岩区的极化率为7%~10%,表现为中高极化特

征,视电阻率为50~300 $\Omega \cdot m$,表现为低电阻率特征。

参考钻探剖面资料,根据实测的多不杂31线激电剖面数据(见图6b),剖面线上60~80号点范围内均为低阻(视电阻率<150 $\Omega \cdot m$),中高视极化率(极化率6%~12%),

激电异常范围大,异常值较高,推断矿(化)体埋藏较浅(120~150 m),地表零星可见氧化铜转石。2009年施工 ZK3104、ZK3124、ZK3132 等 3 个钻孔,其中 ZK3104 孔深 356.49 m,1~22 m 为矿体,22~131 m 为低品位矿化体;ZK3132 孔深 412.36 m,均未见矿;ZK3124 孔深 201.80 m,0~30 m、45~96 m 为矿体,30~45 m、96~201.80 m 为低品位矿化体。2014 年施工 ZK3112、ZK3116、ZK3120 等 3 个钻孔,其中 ZK3116 孔矿体品位达到 0.494%,并厚度均较大;旁边 ZK3920 钻孔见矿厚度达 300 m。高品位矿体对应低电阻率与中高极化率部位,证明激电找矿在该矿集区是有效的。

2.4 多龙矿集区大地电磁测深方法技术研究

由于多不杂 31 线未开展大地电磁测深工作,通过多不杂 AMT08 线 OCCAM 反演断面图来分析大地电磁测深的找矿效果(见图 7)。剖面钻孔 zk0801 显示,11.05~196 m(海拔 4964.95~4770 m)为花岗闪长斑岩,全部含铜矿,均达到工业品位。在海拔 4770 m 处,为电阻率等值线高低值分界线,高值区域电阻率为 250~1000 $\Omega \cdot m$,等值线形态基本连续;196~216.3 m 为玄武质安山岩,岩石破碎程度高,可能含水性较好,表现为低阻异常特征。钻孔 zk0802,17.4~54.42 m(海拔 4952.6~4915.58 m)为长英质角岩(成分以石英、长石)为主;54.42~401.61 m(海拔 4915.58~4568.39 m)均为花岗闪长斑岩,花岗闪长斑岩含矿岩性段为铜矿体,全部达到边界工业品位。F2 断裂位于 P13 号测点正下方,推断断裂向西倾,断裂带表现为低电阻率特征;图 6b 也证明了断层的低阻特征。大地电磁测深能清楚地显示 F2 断裂的深部信息,效果比激电与磁法反映的更深、更清晰。

3 多龙矿集区物化探综合讨论

本文通过对物性的综合分析与研究得出,多龙矿集区物探找矿标志:中高磁异常、中高极化率、低电阻率的“两中高夹一低”的物性特征。磁法可以快速、经济地圈定磁异常区的大致位置,为后期开展大比例尺的剖面观测提供参考。激电剖面资料可以进一步验证磁法的异常的极化率和电阻率特征,从电性方面确定是否为矿致异常,同时进一步验证了矿致磁异常的边界进行确定。大地电磁测深更能准确的反映深部的地质信息,探测深度大,断裂构造形态反映明显,对地质构造进行验证,为确定钻探深度提供参考;同时斑岩矿体的电阻率比含水断裂的电阻率略高;大地电磁测深的电阻率特征为中阻异常。笔者认为多龙矿集区的物探找矿方法为:磁法→激电剖面→大地电磁测深的方法技术组合;对应的勘探目标:面积性→浅部(0~300 m)→中深部(200~1000 m)。

多龙矿集区磁测解释成果与化探组合异常图(图 5)可以清楚的显示 Cu 元素的分带、成矿元素的异常范围、矿化强度、元素套合等信息;通过 Cu 异常的分带性与组合异常的范围进行对比综合研究,认为 HS-1、2、3、5、6 的找矿前景较好,为以后的地质找矿提供了参考依据。本次根据地质、物化探主要找矿标志,优选物探 ΔT 与化探 Cu、Au、Mo 等 4 个因子进行综合分析,得到物化探综合异常(见图 1),提出拿厅西、地堡拿木冈南、波龙西南、铁格隆西、铁格隆山南、尕尔勤南等 6 个重点找矿远景区;尤其是尕尔勤南的环状磁异常、化探异常特征均非常明显。

4 结论

4.1 对多龙矿集区物性特征进行了系统全面的整理与分析,提出物化探找矿标志:中高磁异常、中高极化率、低电阻率的“两中高夹一低”的物性特征,构建了物探找矿模型。

4.2 运用物探垂向一阶、二阶导数、线性增强和总梯度模等新方法、新技术对磁测数据进行再处理,并结合最新地质资料进行深入分析解释,提出新的推断解释成果,有利于指导下一步找矿。

4.3 对矿集区内各种物探找矿方法对比分析,提出多龙矿集区的物探找矿方法技术组合:磁法→激电剖面→大地电磁测深。

4.4 通过地质、物探、化探找矿标志进行综合分析,提出拿厅西、地堡拿木冈南、波龙西南、铁格隆西、铁格隆山南、尕尔勤南等 6 个重点找矿远景区,提高多龙矿集区寻找铜、金矿床的勘查效果,为区域找矿具有重要意义。

致谢 研究及成文过程中,得到项目专家组成员唐菊兴研究员、陈红旗总工、徐志忠副总、郝秋勇高级工程师等以及项目组成员等的指导和帮助,在此表示诚挚的感谢。同时衷心感谢审稿专家和编辑部同志提出的宝贵意见与建议。

References

- Chen Hongqi, QU Xiaoming, FAN Shufang. 2010. Geological characteristics and metallogenic prospecting model of Duolong porphyry copper gold ore concentration area in Gerze County, Tibet [J]. Mineral deposits, 34(2): 321-332.
- Chen Weijin, LIU Hongtao. 2009. Integrated geophysical exploration for concealed ore beneath cover in the Zhaojiaweizi area, inner Mongolia, northern China [J]. Progress in Geophysics, 24(1): 294-301.
- Ding Gaoming, ZHU Ziqiang, CHANG Rongfeng, et al. 2015. Application of integrative geophysical methods to predicting deep ore body in Yechangping molybdenum deposit, Henan province [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 30(1): 325-331.
- Fan Zhengguo, ZHAO Yugang, LU Jianzhong. 2004. The effects of aerogeophysical integrative survey in the exploration of the DuoBaoShan porphyry copper deposit [J]. Geology and prospecting, 40(4): 61-63.
- Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, et al. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 30(8): 1261-1274.
- Guo Zhihua, ZHANG Baolin, QI Min. 2011. The application of high precision ground magnetic prospecting for geological mapping in the 13451 mining area in Mongolia [J]. Progress in Geophysics, 26(5): 1802-1811.
- Jiang Shaoqing, SUN Xingguo, YANG Tiezheng, et al. 2014. Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper gold ore concentration area in northern [J]. Geology in China, 41(2): 497-509.
- Jiang Weiwei, Guan Zhining, Hao Tianyao, et al. 2002. Characters of geophysical fields and forecasting of metal mine at the north edge of Huabei platform [J]. Acta Geophysica sinica, 45(02): 233-245.
- Li Fu, LIU Xinming, LIAO Guozhong, et al. 2013. The application of high precision ground magnetic and electromagnetic sounding in the mineral resources survey [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28(1): 427-433.
- Li Yubin, Duo Ji, Zhong Wanting et al. 2012. An exploration model of the Duobuza porphyry Cu-Au deposit in Gaize Country, northern [J].

- Geology and Exploration,48(2):274-287.
- Li Yu bin,ZHONG Wan ting,ZHANG Tian ping *et al.* 2012. Geochemical Characteristics and Genesis of the Bolong Porphyry Copper Gold Deposit in Gerze County[J]. Acta Geoscientica Sinica,33(4):579-587.
- Liu Guandong,HAO Tianyao. 1995. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods[J]. Acta Geophysica sinica,38(6):850~854.
- Lou Debo,SONG Guoxi,LI Nan, *et al.* 2008. The application of magnetic method in national mineral prediction[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),23(1):249-256.
- Ning Mohuan,HU Changsong,WEN Chunqi, *et al.* 2013. Metallogenic Prognosis Based on Comprehensive Information in the Duolong Ore Concentration Area of the Bangonghu-Nujiang Metallogenic Belt[J]. Geology and prospecting,49(1):58-66.
- Sun Xingguo,Liu Jianming,LIU Hongtao, *et al.* 2007. The application of integrated geophysical prospecting method to the evaluation of haolibao copper deposits[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),22(6):1910-1915.
- Sun Yan, Liu Jianming, ZENG Qingdong *et al.* 2010. Application of comprehensive geophysical methods in ore prospecting in one Au polymetallic mineralizing area[J]. Progress in Geophysics,25(6):2096-2101.
- Tang Juxing, SUN Xingguo, DING Shuai *et al.* 2014. Discovery of the Epithermal Deposit of Cu (Au-Ag) in the Duolong Ore Concentrating Area[J]. Acta Geoscientica Sinica,35(1):6-10.
- Tang JuXing, WANG Qin, YANG Chao *et al.* 2014. Two porphyry – epithermal deposit metallogenic subseries in Tibetan Plateau: “Practice of absence prospecting” deposit metallogenic series[J]. Mineral deposits,33(6):1151-1170.
- Tian Wenfa,HAO Junjie,YAN Jiayong *et al.* 2010. Application of synthetic geophysical methods to deep exploration of Hangxing-type iron deposit[J]. Progress in Geophysics,25(4):1442-1452.
- Tu Guanghong, Jiang Weiwei, Zhu dongying, *et al.* 2006. The relationships between the characteristics of northeast china residual gravity and magnetic anomalies and geological tectonic and metallogenic belt[J]. Acta Geophysica sinica, 21(3): 746-755.
- Wu Wenxian,FAN Wen yu,WANG Yong hua *et al.* 2013. Determination of the Magnetic Source Boundary Based on Total Gradient Module Analysis and Its Prospecting Significance [J] Geology and prospecting,49(6):1164-1169.
- Yang Chuncheng, HAN Geming, YANG Yabin, *et al.* 2013. The application of gavity metod and magnetic method in prospecting work in DAXING' AN Mountain Range [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28(3):1472-1482.
- Yang jian, WANG Xuben, ZENG Qin qin, *et al.* 2014. Graviaty and magnetic filed characteristics and comprehensive prospecting evaluation in Beiya gold mine. Progress in Geophysics(in Chinese), 29(4):1856-1862.
- Yang Zhenwei, YAN Jiayong, CHEN Xiangbin. 2013. The application of spectral induced polarization in ShaXI porphyry copper in AnHui province[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),28(4):2014-2023.
- Zhang Saizhen, Li Yingxian, Zhang Shuchun, *et al.* 1984. The low frequency electrical phase spectra of mineralized rocks (ores) and some factors which influence them in some sulfide ore deposits in china[J]. Acta Geophysica sinica, 07(02):176-189.
- 以内蒙赵家围子银铅锌多金属矿床为例[J]. 地球物理学进展, 24(1):294-301.
- 丁高明, 朱自强, 常荣凤, 等. 2015. 综合物探法在河南夜长坪钼矿深部找矿预测中的应用[J]. 地球物理学进展, 30(1):325-331.
- 范正国, 赵玉刚, 卢建忠. 2004. 航空物探综合站测量在多宝山斑岩铜矿上的应用效果[J]. 地质与勘探, 40(4):61-63.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 2011. 班公湖—怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 30(8):1261-1274.
- 郭志华, 张宝林, 祁民. 2011. 地面高精度磁测在蒙古 13451 矿区地质填图中的应用[J]. 地球物理学进展, 26(5):1802-1811.
- 江少卿, 孙兴国, 杨铁铮, 等. 2014. 藏北多龙斑岩铜金矿集区综合信息找矿模型研究[J]. 中国地质, 41(2):497-509.
- 江为为, 管志宁, 郝天珧, 等. 2002. 华北地台北缘地球物理场特征与金属矿床预测[J]. 地球物理学报, 45(02):233-245.
- 李富, 刘鑫明, 廖国忠, 等. 2013. 地面高精度磁测和电磁测深在矿产调查中的应用[J]. 地球物理学进展, 28(1):427-433.
- 李玉彬, 多吉, 钟婉婷, 等. 2012. 西藏改则县多不杂斑岩型铜金矿床勘查模型[J]. 地质与勘探, 48(2):274-287
- 李玉彬, 钟婉婷, 张天平, 等. 2012. 西藏改则县波龙斑岩型铜金矿床地球化学特征及成因浅析[J]. 地球学报, 33(4):579-587.
- 刘光鼎, 郝天珧. 1995. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 38(6):850~854.
- 娄德波, 宋国玺, 李楠, 等. 2008. 磁法在我国矿产预测中的应用 [J]. 地球物理学进展, 23(1):249-256.
- 宁墨免, 胡昌松, 温春齐, 等. 2013. 西藏班—怒成矿带多龙矿集区斑岩铜矿综合信息找矿预测[J]. 地质与勘探. 49(1):58-66.
- 孙兴国, 刘建明, 刘洪涛, 等. 2007. 综合物探方法在好力宝铜矿床的应用[J]. 地球物理学进展, 22(6):1910-1915.
- 孙燕, 刘建明, 曾庆栋等. 2010. 综合地球物理方法在某金多金属矿区找矿中的应用[J]. 地球物理学进展, 25(6):2096-2101.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 等. 2014. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 地球学报, 35(1):6-10.
- 唐菊兴, 王勤, 杨超, 等. 2014. 青藏高原两个斑岩—浅成低温热液矿床成矿亚系列及其“缺位找矿”之实践[J]. 矿床地质, 33(6):1151-1170.
- 田文法, 郝俊杰, 严加永, 等. 2010. 综合地球物理方法在邢耶式铁矿深部找矿中的应用[J]. 地球物理学进展, 25(4):1442-1452.
- 涂广红, 江为为, 朱东英, 等. 2006. 中国东北地区剩余重磁异常特征与地质构造及成矿带的关系[J]. 地球物理学进展, 21(3):746-755.
- 吴文贤, 范文玉, 王永华, 等. 2013. 基于总梯度模分析的磁源体边界信息提取及找矿意义[J]. 地质与勘探, 49(6):1164-1169.
- 杨春成, 韩革命, 杨亚斌, 等. 2013. 高精度重、磁测量在大兴安岭找矿工作中的应用[J]. 地球物理学进展, 28(3):1472-1482.
- 杨剑, 王绪本, 曾琴琴, 等. 2014. 北衙金矿重磁场特征与综合找矿评价[J]. 地球物理学进展, 29(4):1856-1862.
- 杨振威, 严加永, 陈向斌. 2013. 频谱激电法在安徽沙溪斑岩铜矿中的应用[J]. 地球物理学进展, 28(4):2014-2023.
- 张赛珍, 李英贤, 张树椿, 等. 1984. 我国几个金属矿区岩(矿)石的低频电相位频率特性及其影响因素[J]. 地球物理学报, 07(02):176-189.

附中文参考文献

- 陈红旗, 曲晓明, 范淑芳. 2015. 西藏改则多龙矿集区斑岩型铜金矿床的地质特征与成矿-找矿模型[J]. 矿床地质, 34(2):321-332.
- 陈伟军, 刘洪涛. 2009. 综合地球物理方法在隐伏矿床勘查中的应用-